

II-106 橋脚の回りの洗掘について (第ニ報)

日本大学理工学部 正員 ○ 栗津清蔵

同上 正員 近美 勲

同上 正員 大津 英夫

§ 1. まえがき。

一般に橋脚部の流水の強弱によつて、その回りに洗掘が発生したり、時には洗掘が起らない場合がある、両者の境界の流水を限界流、洗掘の起る流水を超限界流とせよと水師がとらへる。

『どんな河床物質で、どのような流れに、どんな橋脚を設置した場合に洗掘が起るか』という限界流の解析について、国定実験の援助による考え方(1)とそれに基づいた実験(2)について既に述べた通りである。

また橋脚部の二次流が洗掘に効果的である見解は従来から述べられていた事(3)であるが『二次流の強さが、どの程度に、どんな形で河床物質の移動に寄与するか』という定量的なことは明らかでない。

いふにせよ二次流の発生は少なくとも橋脚の回りの底流速に變化をきたすもので、二次流と最大底流速とは互に独立なものである、という推論のもとに、巨視的な立場から著者等はこの現象を取り扱つて来た。

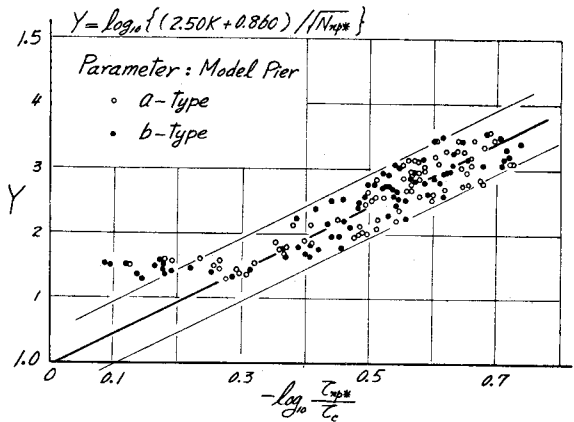


図 - 1

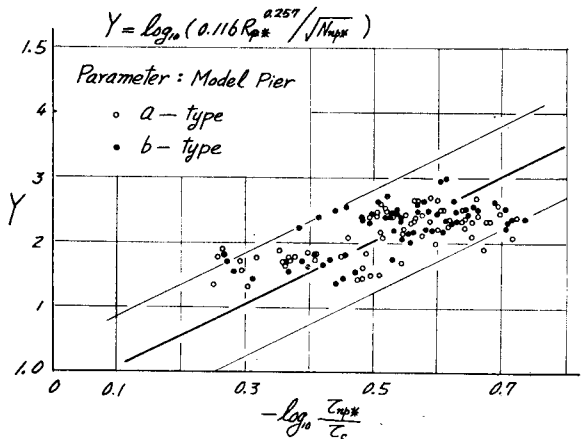


図 - 2

§ 2. 限界流について。

昨今の年次講演会において述べたように、国定実験の援助と移動実験の結果から、それぞれが図一、図二が得られた、これからそれぞれ次の関係式が得られた。

洗掘の発生限界をなす限界流の現象が橋脚のレイノルズ数 $R_p = V_{fp} d / \nu$ には無関係であると想定して誘導したのが(1)式である、 $K = d/B$ には無関係でレイノルズ数が効果的であると想定して誘導したのが(2)式である。

$$\frac{V_{vp*}}{V_c} = \frac{96.5 N_{vp*}}{(2.50K + 0.860)^2} \quad (1)$$

$$0.1 \leq K \leq 0.25, 8.0 \leq d/d_m \leq 33.3$$

$$\frac{\tau_{np*}}{\tau_c} = \frac{5.96 \times 10^3 N_{np*}}{R_{p*}^{0.514}} \quad (2)$$

$$4.77 \times 10^3 \leq R_p \leq 1.93 \times 10^4, \quad 8.0 \leq d/d_m \leq 33.3$$

一般に流字 np のある水理量は橋脚設置断面の設置以前の Normal flow における水理量であるから、 $\tau = f \rho v^2 / 2$ とおき、摩擦抵抗係数に Manning の式を用いると $f = 2g/c^2 = 2ng^2/R^{1/3} = 2N$, 従って

$$\tau / \rho = N v^2 \quad (3)$$

これを (1), (2) 式に適用することにより、それぞれ限界流に関する水理量が計算される。

(1) 式より

$$\frac{v_{np*}}{v_{*c}} = \frac{9.82}{2.50K + 0.860} \quad (4)$$

(2) 式より

$$\frac{v_{np*} d}{\nu} = 32.0 \left(\frac{v_{*c} d}{\nu} \right)^{0.796} \quad (5)$$

すなわち限界平均流速、境界レイノルズ数が、それぞれ (4) 式および (5) 式によって示され、それらの値は河床物質と橋脚の大きさ、水路の幅広とが与えらるゝと決定されるものであることが理解される。

8.3. 超限界流と洗掘深について。

超限界流並に限界流のときの橋脚設置予定断面の掃流力をそれぞれ τ_{np} , τ_{np*} とすると、最大洗掘深は一般に τ_{np} / τ_{np*} に比例するものと考えられる。

さらに (1) 式に適用するにため、最大洗掘深は $(\tau_{np} / N_{np}) / (\tau_{np*} / N_{np*})$ に比例するものと仮定する、その場合 (3) 式より理解されるように、 $(\tau_{np} / N_{np}) / (\tau_{np*} / N_{np*})$ は $(v_{np} / v_{np*})^2$ によって与えられる。

次に $v_{np} d / \nu = R_p$, $v_{np*} d / \nu = R_{p*}$ とおくと $v_{np} / v_{np*} = R_p / R_{p*}$ によって示されたから初期移動断面から最大洗掘深を h_s とすると

$$h_s \propto \frac{\tau_{np} / N_{np}}{\tau_{np*} / N_{np*}}, \quad \frac{v_{np}}{v_{np*}} \quad \text{or} \quad \frac{R_p}{R_{p*}} \quad (6)$$

最大洗掘深の無次元量として、水深 h_{np} , または径深 R_{np} を用いた相対最大洗掘深を用いると、上述の推論から最大洗掘深に関する次の式が考えられる。

すなわち (4) 式を考慮して

$$F \left(\frac{h_s}{h_{np}} \text{ or } \frac{h_s}{R_{np}}, \quad \frac{v_{np}}{v_{np*}} \right) = 0 \quad (7)$$

(5)式を考慮して

$$F\left(\frac{h_s}{h_{np}} \text{ or } \frac{h_s}{R_{np}}, \frac{R_p}{R_{p*}}\right) = 0 \quad (8)$$

(7)式は洗掘現象が R_p には無関係で K が支配的であるという考えで誘導されたもので、(8)式は逆に K には無関係で R_p が支配的であるという考えのもとで誘導されたものである。

(7), (8)両式を検証するため、現象学的検討を試みるが、限界流に関する実験より、例えば図-1, 2より見られるように、実験範囲では、橋脚の断面形状(円形: a-type, 楕円長円: b-type)の影響は見られなかったため、最大洗掘深の実験として、はじめとして、幅20cmの長方形断面鋪水路に、半径がそれぞれ1, 2, 2.5cmの円形断面橋脚を用い、河床物質は平均粒径0.15, 0.25, 0.35cmの三種類と単独にそれぞれ使用する実験を行った。

一般に洗掘される領域、最大洗掘深は時刻の経過に伴って増大するが、その進行は十分に定着した後には停止する、いわゆる定着した移動面がええれる、この実験において定着移動面がええれるまでに要した時刻は洗掘発生時より180~240分であった、そのときの最大洗掘深の資料を(7), (8)式に従ってplotすると図-3~6の結果がええれた、ただしこれらの資料は次の条件のもとで得られたものである。

$$\begin{aligned} d/d_m &\geq 8.0, \quad 0.1 \leq K \leq 0.25, \\ 0.3 \leq F_r = V_{np}/\sqrt{g h_{np}} &\leq 0.5 \end{aligned}$$

図-3, 4よりそれぞれ次の式が得られた

$$\frac{h_s}{h_{np}} = 2.89 \log_{10} \frac{V_{np}}{V_{np*}} \quad (9)$$

$$\frac{h_s}{R_{np}} = 5.67 \log_{10} \frac{V_{np}}{V_{np*}} \quad (10)$$

ただし

$$V_{np*} = \frac{9.82\sqrt{\tau_c/\rho}}{2.50K + 0.860}$$

図-5, 6より

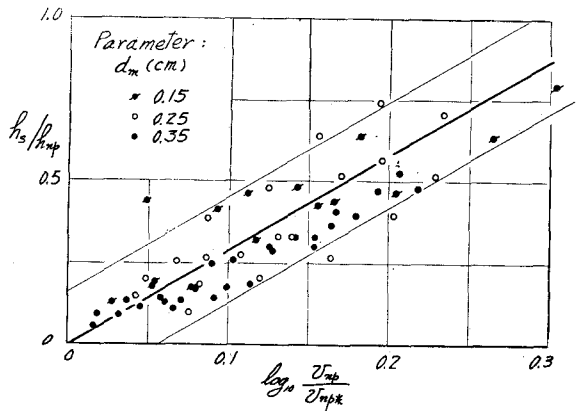


図-3

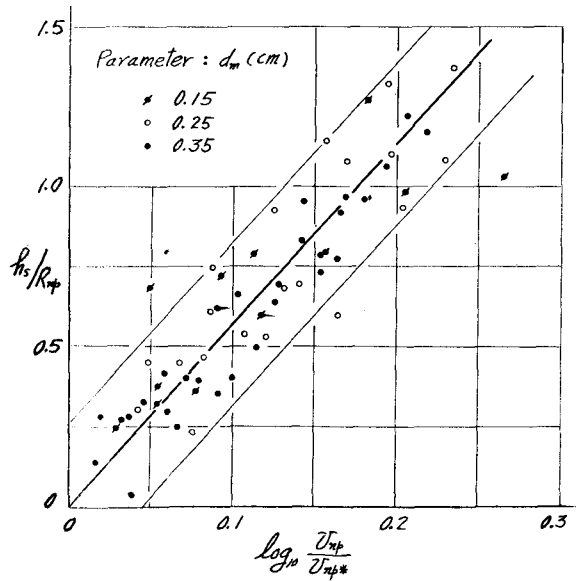


図-4

$$\frac{h_s}{h_{np}} = 2.64 \log_{10} \frac{R_p}{R_{p*}} \quad (11)$$

$$\frac{h_s}{R_{np}} = 5.25 \log_{10} \frac{R_p}{R_{p*}} \quad (12)$$

ただし R_{p*} は(5)式によって与えられる。

図-3と6と比較すると、甚だ直線的であるが、実験範囲内においては、図-4の傾向が鮮明のように見受けられる。

しかし最大洗掘深の評価に最も重要である、限界平均流速 $\bar{v}_{np*}$ 、限界レイノルズ数 $\bar{v}_{np*} d/\nu$ の表示において、洗掘現象は R_p には無関係、あるいは K には無関係と想定したところに問題があり、実験範囲内の洗掘現象は R_p 、 K が共に有効で、従って例えば(5)式の常数項は K の関数であるかも知れない、また K が非常に小さくなれば、現象の支配的因子は R_p になるという推論が可能となることに注目すると、これらの問題を明確にするには、実験範囲を拡大することによって確認、検証されるであろう。

今後これらの問題を考慮し入れて研究を継続して行なう。

最後にこの研究は文部省科学研究費の補助を受けたことと附記する。

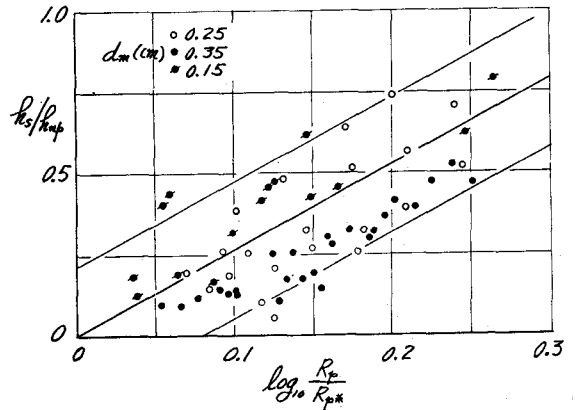


図-5

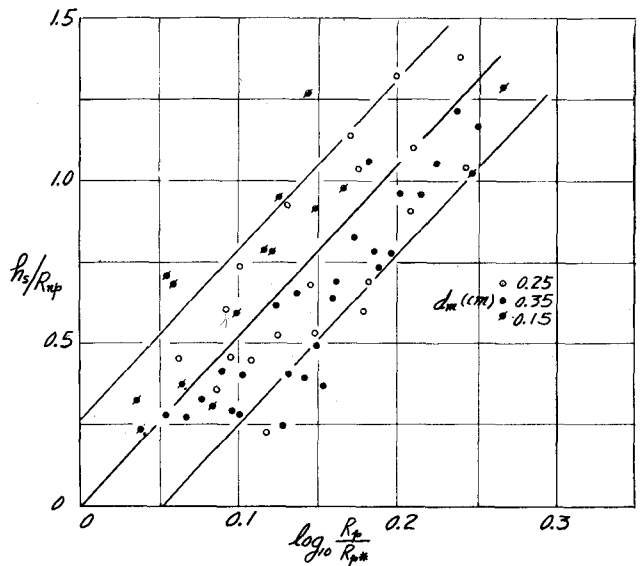


図-6

補足(4)記号の説明: ρ, ν : 水の密度, 動粘性係数。 g : 重力の加速度。 d : 橋脚の流水に垂直な面への投影面の幅。 n : 粗さ係数。 R : 径深。 N : 水路の粗さを示す次元量は $n^2 g/R^{1/3}$ 。

τ_c : 河床物質の限界接流力。 $\bar{v}_{nc} = \sqrt{\tau_c/\rho}$ 。 $\bar{v}_{np}, h_{np}, \tau_{np}, R_{np}$: 橋脚設置予定断面の設置以前の平均流速, 水深, 接流力, 径深。 $N_{np} = n^2 g/R_{np}^{1/3}$ 。 $R_p = \bar{v}_{np} d/\nu$ 。 B : 水路幅。 $K = d/B$ 。 h_s : 初期移動床面よりの最大洗掘深, ただし危険状態にあらずものである。 $\bar{v}_{np*}, N_{np*}, \tau_{np*}, R_{p*}$: 洗掘発生限界時における限界値にあらず $\bar{v}_{np}, N_{np}, \tau_{np}, R_p$ の値。

補足(6)参考文献: (1) 栗津: 「橋脚の回りの洗掘に関する研究と行方」に当って」土木学会年次講演会 昭和43年, (2) 栗津他 「橋脚の回りの洗掘について」土木学会年次講演会 昭和44年, (3) 例えは 石原・本間 「応用水理学」中[I], Shen, Schneider & Karaki: "Local Scour Around Bridge Piers" Proc. A.S.C.E. 1969